Influência do manejo na sustentabilidade do uso agrícola de efluentes: estudo de caso com cana-de-açúcar em Lins-SP

CRITICAL INFLUENCE OF MANAGEMENT FOR AN EFFLUENT SUSTAINABLE AGRICULTURAL USE: A STUDY CASE WITH SUGARCANE IN LINS-SP

Julius Blum⁽¹⁾

Rafael Marques Pereira Leal⁽²⁾

Célia Regina Montes⁽³⁾

Adolpho José Melfi⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas ESALQ-USP e Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), USP;

⁽²⁾ Doutorando em Ciências CENA-USP; ⁽³⁾ Profa Dra. CENA-USP e NUPEGEL-USP;

⁽⁴⁾ Prof Dr. Departamento Solos e Nutrição de Plantas ESALQ-USP e NUPEGEL-USP.

Endereço: NUPEGEL, Av. Pádua Dias, 11 - 13418-900 Piracicaba, SP - Brasil - E-Mail: jblum@esalq.usp.br.

RESUMO

As culturas têm papel decisivo no uso sustentável de efluentes em sistemas agrícolas. Neste trabalho, foram comparadas as quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e Na aportados pela irrigação com efluente de esgoto tratado (EET) com as quantidades extraídas pela cultura de cana de açúcar em dois ciclos sucessivos, um de alta produtividade e outro de baixa, onde a produtividade foi afetada pela compactação. No primeiro ciclo, a irrigação com efluente aumentou a produtividade e a exportação de nutrientes e Na, enquanto que no ciclo seguinte, afetado pela compactação, a irrigação não promoveu ganhos de produtividade ou na extração dos nutrientes e Na aportados, incrementando o potencial de contaminação do ambiente via lixiviação. Portanto, práticas de manejo compatíveis com elevados níveis de produtividade são cruciais em agrossistemas irrigados com EET.

ABSTRACT

Crops play a key role in the sustainable use of effluents in agricultural systems. In this study, we compared the amounts of nutrients (N, P, K, Ca and Mg) and Na added by irrigation with treated sewage effluent (TSE) with the quantities extracted by sugarcane in two successive cycles, one of high productivity and one of low, where productivity was affected by soil compaction. In the first cycle, irrigation with effluent increased the productivity and the amounts of nutrients and Na exported by the crop, while in the following cycle, affected by soil compaction, irrigation did not increase productivity nor the extraction of nutrients and Na, increasing the potential for environmental contamination through leaching. Therefore, management practices coherent with high productivity levels are crucial in agrosystems irrigated with TSE.

Palavras-chave: efluente de esgoto tratado; reuso agrícola, cana-de-açúcar, lixiviação; contaminação ambiental, manejo agrícola.

Key words: treated sewage effluent; agricultural reuse; sugarcane; leaching; environmental contamination; agricultural management.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento agrícola dos efluentes de estações de tratamento de esgoto (EETE) gerados por sistemas de lagoas de estabilização, além de preservar a qualidade dos recursos hídricos, evitando a disposição nos cursos d'água e os respectivos riscos de eutroficação, pode acarretar num conjunto de benefícios, tais como o fornecimento de nutrientes aos cultivos agrícolas e a economia de água de boa qualidade, sendo, portanto, uma alternativa econômica e ambientalmente interessante (FEIGIN *et al.*, 1991; da FONSECA *et al.* 2007a). Apesar dos potenciais benefícios, esta não é uma prática isenta de

riscos, haja vista que a presença de alguns constituintes, tais como o sódio (Na), metais pesados, organismos patogênicos e contaminantes orgânicos, podem ocasionar prejuízos significativos ao sistema solo, comprometendo, caso não se observem rigorosamente os critérios técnico-científicos apropriados a esta prática, a viabilidade do reuso agrícola (BOND, 1998).

Dentre os diversos aspectos a serem considerados para o aproveitamento sustentável deste resíduo na agricultura, a utilização de culturas com grande capacidade de exportação de nutrientes é um dos itens de maior importância. Uma elevada extração de nutrientes pelas plantas possibilita o pleno aproveitamento dos nutrientes disponíveis no EETE, minimizando as perdas e o potencial impacto negativo associado, tais como a lixiviação de nitrato para o lençol freático e o acréscimo nas emissões de gases de efeito estufa pelo solo (NO_x) (BARTON et al., 2005). A capacidade de exportação de nutrientes pelas plantas está diretamente ligada à produtividade das culturas. Neste sentido, a manutenção de elevados níveis de produtividade de uma cultura depende diretamente de um manejo adequado, no qual se observem as condições físicas, químicas e biológicas mais apropriadas ao seu desenvolvimento.

De acordo com Segarra et al. (1996), as culturas aptas a irrigação com EETE devem possuir, dentre outras características, um alto consumo de água, elevada absorção de nitrogênio (N), potencial de processamento industrial e alto retorno econômico. Neste sentido, a cana-de-açúcar, é uma das culturas que possuem grande potencial para ser irrigada com EETE, considerando-se a possibilidade de aproveitamento industrial, a importante geração de divisas com as exportações de açúcar e álcool, sua eficiência fotossintética e a conseqüente alta demanda de nutrientes e água (LEAL, 2007). Apesar do elevado potencial de resposta a irrigação, esta prática ainda é incipiente no Estado de São Paulo, independentemente do tipo de água utilizado (CUNHA, 2001). Mesmo no nível da pesquisa, experimentos que utilizem EETE como fonte de água para irrigação ainda são incomuns (LEAL et al., 2009a).

Neste trabalho, foram analisadas as inter-relações entre manejo, produtividade e uso agrícola de efluentes, a partir da análise de um agrossistema cultivado com cana-de-açúcar por 2 ciclos e irrigado com EETE em Lins-SP. Para tal, foram comparadas as quantidades de nutrientes aportados e extraídos pela cultura nos dois ciclos, um de alta e outro de baixa produtividade, tendo sido a produtividade afetada pelas práticas de manejo adotadas.

METODOLOGIA

A área experimental localiza-se no município de Lins, estado de São Paulo, longitude 49°50'W, latitude 22°21'S, altitude de 440 m, situada junto à estação de

tratamento de esgotos operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). O solo local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, com textura franco arenosa (EMBRAPA, 1999). No momento do plantio da cultura, realizado em março de 2005, o solo apresentava pH em CaCl_2 de 5,17, teores de Ca, Mg, K e Na iguais à 12,9, 3,5, 2,7 e 1,1 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ respectivamente e capacidade de troca de cátions (CTC) de 35,5 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ na camada de 0-20 cm de profundidade e grau de dispersão de argila de 26,6% ao longo do perfil (LEAL, 2007).

As principais características agroindustriais da variedade empregada no estudo, RB 72454, são: alta produtividade em cana-planta e cana-soca, alto rendimento agroindustrial, baixa exigência em fertilidade do solo, ampla adaptabilidade e estabilidade de produção, com médio potencial de brotação da soqueira.

Foram avaliadas duas safras subseqüentes, cana planta (safra 2006) e primeira soca (safra 2007). No primeiro ciclo, a fertilização mineral da cana-de-açúcar consistiu da aplicação de 15 kg ha^{-1} de N (nitrato de amônio), 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 80 kg ha^{-1} K_2O (cloreto de potássio), nos sulcos de plantio. Após o primeiro corte, foram aplicados 120 kg ha^{-1} de N (nitrato de amônio), 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 120 kg ha^{-1} K_2O (cloreto de potássio).

O experimento foi instalado seguindo o delineamento de blocos completos com 05 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a lâminas de irrigação com EETE, aplicadas por gotejamento: T100 - 100% da necessidade hídrica da cultura (NC); T125 - 25% acima da NC; T150 - 50% acima da NC; T200 - 100% acima da NC e SI - sem irrigação. A necessidade de irrigação foi monitorada por tensiômetros instalados no meio das camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Cada unidade experimental possuía 40,0 m de comprimento, 7,00 m de largura, totalizando 280,00 m^2 , sendo a área útil de 126,00 m^2 .

Por ocasião da colheita, avaliaram-se a produtividade da cultura e as concentrações de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e Na nos colmos da cana de açúcar. As

Figura 1. Resistência do solo à penetração (RP) na área experimental em julho de 2007, com umidade média de 0,18 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (MOREIRA e VAZ, 2008).

amostras de colmo foram submetidas a determinações dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, e Na, conforme Malavolta (1997). As concentrações de P, K, Ca, Mg e Na foram obtidas através de digestão nítrico-perclórica e leitura por Fotometria de Chama para K e Na; Espectrometria de Absorção Atômica para Ca e Mg; Colorimetria para P. A concentração de N foi determinada por meio de digestão sulfúrica com posterior destilação em aparelho Kjeldahl e titulação com ácido sulfúrico.

Calcularam-se também os aportes de nutrientes e de Na pelo efluente e a exportação de nutrientes e de Na pelos colmos. As análises de efluente foram realizadas conforme APHA, (1999). Como parâmetro de qualidade física da área, avaliou-se a compactação do solo através da quantificação da resistência a penetração do solo, usando-se para tal um penetrômetro de impacto convencional. As medidas foram feitas em todas as parcelas experimentais, com três repetições por parcela, num total de 60 pontos tomados inteiramente ao acaso (MOREIRA & VAZ, 2008). No início de 2008, avaliou-se também a % de falhas de brotação na área experimental. O critério para caracterização das falhas de brotação correspondeu à ausência de brotos na linha de plantio numa distância maior que 30 cm.

As médias dos tratamentos e das safras avaliadas foram comparadas através de análise de variância seguida pelo teste de Tukey, de acordo com o modelo de parcelas subdivididas, considerando o tempo como subparcela. Todas as análises foram realizadas através do emprego do software SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em média, em sua constituição, o EETE apresentou: pH de 7,7; 31,9 mg L⁻¹ de nitrogênio [70% amônio (NH₄⁺) e 30% nitrato (NO₃⁻)]; 65,28 mg L⁻¹ de carbono orgânico dissolvido; 301 mg L⁻¹ de bicarbonato (HCO₃⁻); 146 mg L⁻¹ de sódio; condutividade elétrica de 0,86 dS m⁻¹ e razão de adsorção de sódio igual à 11,9 (mmol L⁻¹)^{0.5}. As altas concentrações de Na no efluente, associadas às baixas concentrações de Ca e Mg, baixa condutividade elétrica e elevada razão de adsorção de sódio são os principais fatores que podem afetar negati-

vamente a produtividade vegetal e a qualidade do solo, em razão da potencial degradação estrutural (dispersão de partículas de argila) provocada pelo Na no solo (LEAL et al. 2009b). Uma caracterização mais completa deste EETE, bem como uma discussão mais detalhada das possíveis implicações agrônomo-ambientais oriundas do uso agrícola deste EETE está disponível em da Fonseca et al. (2007b).

No primeiro ciclo produtivo (cana planta), os tratamentos irrigados produziram, em média, 227 ton ha⁻¹, e o tratamento controle (sem irrigação) 152 ton ha⁻¹ (Tabela 1). Estes níveis elevados de produtividade para os tratamentos irrigados são explicados por um somatório de fatores: (i) a variedade escolhida apresenta elevada produtividade; (ii) adoção plena das práticas de manejo recomendadas para a cultura, tais como adubação verde anteriormente ao plantio, calagem e adubação mineral; (iii) baixa incidência de pragas, doenças e competição com plantas daninhas; (iv) em especial, a irrigação. É provável que as diferenças de produtividade entre os tratamentos irrigados e o controle estejam relacionadas mais ao fornecimento de água do que ao aporte extra de nutrientes via irrigação, uma vez que, apesar do aporte diferenciado de nutrientes nos diferentes tratamentos irrigados (T100-T200), não houveram diferenças significativas de produtividade entre estes; além disso, comparando-se os tratamentos irrigados e o controle, não houveram diferenças expressivas nas quantidades de nutrientes extraídos pelos colmos para praticamente nenhum dos nutrientes considerados (N, P, K, Ca, Mg, etc). Já no segundo ciclo produtivo ocorreram reduções expressivas de produtividade em todos os tratamentos, tanto nos irrigados quanto para o sem irrigação (Tabela 1). Em relação ao primeiro ciclo produtivo, na média, os tratamentos irrigados apresentaram uma queda de 71% na produtividade enquanto que, no controle sem irrigação, esta redução foi de 62%, sendo a produtividade média em ton ha⁻¹ de 66 e 65 para os tratamentos irrigados e controle, respectivamente (Tabela 1). Tais níveis de produtividade são baixos para uma cana em 2° corte, particularmente para uma variedade produtiva como a RB 72454 que, segundo informações do PMGCA/UFSCar (2007), apresenta uma produtividade média de colmos de 100 ton ha⁻¹ no 3° corte.

Durante a primeira colheita da cultura, em 2006, ocorreu tráfego de maquinários na área experimental em condições de solo úmido, ocasionando com isso compactação do solo e falhas de brotação na safra seguinte. Como consequência, no segundo ciclo, durante o desenvolvimento da cultura, os valores de resistência do solo à penetração, na camada entre 20 e 40 cm, foram próximos ou superiores

Figura 2. Análise de falhas de brotação da cana de açúcar.

Tabela 1. Extração de nutriente pela cana de açúcar no primeiro e no segundo ciclo produtivo

Tratamento	Lâmina irr.	N	P	K	Ca	Mg	Na
	mm						
					kg ha ⁻¹		
Safra 2006							
SI	-	-	-	-	-	-	-
T100	2520	740	108	311	189	45	3050
T125	3150	925	135	388	236	56	3812
T150	3780	1110	163	466	284	67	4575
T200	5040	1481	217	621	378	89	6100
Safra 2007							
SI	-	-	-	-	-	-	-
T100	1202	353	52	148	90	21	1455
T125	1468	431	63	181	110	26	1777
T150	1796	528	77	221	135	32	2174
T200	2379	699	102	293	178	42	2879

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey $p > 0,05$.

** valor de F significativo $p < 0,01$. SI – sem irrigação;

T100 – 100% da NC; T125 – 25% acima da NC;

T150 – 50% acima de NC e

T200 – 100% acima da NC.

a 2 MPa (Figura 1), valor considerado como sendo restritivo ao crescimento de raízes (BEUTLER e CENTURION, 2003). A compactação do solo nesta profundidade, que concentra uma grande densidade de raízes (FARONI, 2004; FARONI e TRIVELIN, 2006), aliada à sensibilidade desta variedade ao pisoteio, resultou na ocorrência de 17-25 % de falhas de brotação na área experimental (Figura 2). Além do aumento do número de falhas, a compactação pode desencadear respostas conservativas na planta, limitando o seu crescimento (PASSIOURA, 2002). Portanto, o manejo inadequado durante a primeira colheita limitou o potencial produtivo da cultura na safra posterior, inibindo com isso os efeitos benéficos da irrigação sobre a produtividade e a exportação de nutrientes e Na pelos colmos (Tabela 1).

Além de potenciais prejuízos financeiros, a irrigação com efluentes em sistemas agrícolas com limitações de produtividade, ocasionadas ou não por manejo inadequado, pode causar problemas ambientais devido à baixa exportação de macronutrientes e de Na via colheita de colmos, aumentando com isso o potencial de perdas de nutrientes para o ambiente.

Houve interação significativa entre tratamentos com irrigação e safra avaliada para a produtividade e exportação de N, P, Ca e Mg. Na safra 2006, a produtividade e a exportação de nutrientes e Na pelos colmos foram muito superiores à safra seguinte. Ainda, na primeira safra, o aumento de produtividade nos tra-

tamentos irrigados incrementou a exportação de N, P, Ca e Mg pelos colmos, enquanto que, na safra seguinte, não houve efeito da irrigação, seja na produtividade seja na exportação de nutrientes e Na (Tabela 1).

No primeiro ciclo (safra 2006), mesmo com o aumento de produtividade e exportação de N (464-600kg ha⁻¹) nos tratamentos irrigados com EETE (Tabela 1), as quantidades acumuladas no colmo foram insuficientes para compensar o elevado aporte (740-1481 kg ha⁻¹)

oriundo das lâminas de irrigação aplicadas (Tabela 2). Isto reforça a importância de se adequar a quantidade da irrigação a ser aplicada de acordo com os requerimentos nutricionais das culturas empregadas nos projetos de reuso.

Já na safra 2007, a exportação de N pela cultura (75-89 kg ha⁻¹) foi muito inferior ao aporte de N ocor-

Tabela 2. Aporte de nutrientes pela irrigação com EETE no primeiro e segundo ciclo produtivo da cana de açúcar

Tratamento	Produtividade	Exportação de nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
	t ha ⁻¹						
					kg ha ⁻¹		
Safra 2006							
SI	153c	344c	26b	461a	16c	24b	181a
T100	247a	535ab	45a	550a	38a	48a	138a
T125	198b	464b	37ab	442a	22bc	39a	204a
T150	233a	525ab	49a	481a	30ab	46a	160a
T200	232a	600a	49a	460a	31ab	47a	260a
Safra 2007							
SI	62a	75a	10a	111a	6a	11a	25a
T100	64a	89a	10a	128a	7a	10a	20a
T125	60a	74a	8a	94a	5a	8a	16a
T150	68a	80a	11a	105a	7a	12a	19a
T200	60a	79a	12a	126a	7a	11a	24a
F (safras)	1341**	850**	256**	265**	170**	301**	41**

SI – sem irrigação;

T100 – 100% da NC;

T125 – 25% acima da NC;

T150 – 50% acima de NC e

T200 – 100% acima da NC.

rido via irrigação com efluente ($353\text{-}699\text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 2). Considerando que neste ciclo não houve aumento de exportação de nutrientes pela cultura em razão da irrigação, grande parte do N aportado pelo efluente foi provavelmente perdido, especialmente na forma de nitrato em solução, dada a baixa afinidade deste ânion com as superfícies coloidais negativamente carregadas do solo. Comparando-se o tratamento T100 da safra 2006 com o tratamento T200 da safra 2007, onde o aporte de nutrientes foi semelhante, houve um incremento de extração de cerca de 190 kg de N no tratamento T100 em relação ao SI na safra 2006, correspondente a 25% do N aportado pelo efluente, reduzindo a possibilidade de perdas para o ambiente. Enquanto que, no T200 da safra 2007, em comparação com o SI desta safra, não houve aumento de extração e, portanto, todo o N aportado permaneceu passível de lixiviação. Assim sendo, o aumento na exportação de nutrientes pela cultura, especialmente de íons com potencial poluidor, é um fator chave a ser considerado na implantação e manejo de sistemas irrigados com efluentes.

O comportamento do nitrogênio foi enfatizado por ser, dentre os elementos estudados, o de maior potencial de poluição. No entanto, seguindo o mesmo raciocínio, na safra 2006, 17% do fósforo, 29% do potássio, 11% do cálcio e 54% do magnésio aportados via irrigação no tratamento T100 foram exportados pelos colmos, enquanto que na safra 2007, como a irrigação não promoveu aumento de extração de nutrientes pelos colmos, os íons aportados foram ou adsorvidos pelo solo ou perdidos para o ambiente, acarretando com isso um expressivo aumento do potencial de poluição ambiental via contaminação do lençol freático. Com relação ao sódio, por ser um elemento aportado em grandes quantidades, a extração pela cana não atenuou o potencial de impacto negativo deste elemento a estrutura do solo. A este respeito, cabe ainda dizer que, salvo se tratar de culturas halófitas (LEAL et al, 2008), o manejo sustentável do Na nos agrossistemas irrigados com EETE é muito pouco influenciado pela escolha e/ou pelo manejo da cultura, já que tanto sistemas de alta ou baixa produtividade extrairão e exportarão muito pouco Na em comparação aos elevados aportes normalmente associados a esta classe de resíduo.

CONCLUSÕES

A compactação devido ao manejo inadequado da cultura no momento da colheita do primeiro ciclo afetou expressivamente a sua produtividade no segundo ciclo, reduzindo a capacidade de extração da planta e o seu potencial em aproveitar os nutrientes adicionados via irrigação. A manutenção de elevados níveis de produtividade é crucial para o manejo sustentável dos elementos adicionados ao solo via irrigação com efluente, uma vez que a planta tem papel decisivo na regulação das quantidades de nutrientes sujeitos à perdas no sistema solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro e bolsa de estudo, à SABESP pelo auxílio financeiro e fornecimento da área experimental e ao grupo EQUIPAV açúcar e álcool pela assistência no manejo da cana-de-açúcar

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard methods for the examination for water and wastewater*. 20 ed. Washington: APHA, 1999. 1220p.
- BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR, M. D.; MCGILL, A. C.; VAN SCHAIK, A. P.; FITZGERALD, N. B.; PANDEY, S. P. Land application of domestic effluent onto four soil types: plant uptake and nutrient leaching. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.34, p. 635-643, 2005.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n.7, p. 849-856, 2003.
- BOND, W. J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.36, p.543-555, 1998.
- CUNHA, C. A. H.; MACHADO, R. E.; COELHO, R. D. Irrigação da cana-de-açúcar: análise econômica. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*. Piracicaba, v.19, n.4, p.30-34, 2001.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- FARONI, C. E. *Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas*. 2004. 68 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, p. 1007-1013, 2006.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with trea-*

ted sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224 p.

DA FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, p.194-209, 2007a.

DA FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. *Agricultural Water Management*, v. 87, p. 328-336, 2007b.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.1065-1072, 2008.

LEAL, R. M. P. *Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar*. 2007. 109 p. Dissertação Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.66, n.2, p. 242-249, 2009a.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; DA FONSECA, A. F.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicty and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, v.96, p.307-316, 2009b.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MOREIRA, C. R.; VAZ, C. M. Resistência à penetração de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com efluente de tratamento de esgoto urbano. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Rio de Janeiro, 2008. CD Rom.

PASSIOURA, J. B. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*, v.25, p.311-318, 2002.

SEGARRA, E.; DARWISH, M. R.; ETHRIDGE, D. E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. *Resources, Conservation & Recycling*, Amsterdam, v.17, p.97-107, 1996.